Journal of Horticultural Science
https:// jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 1, Spring 2022, p. 213-228

Foliar Application of Nano Fe and Se Affected the Growth and Yield of *Pelargonium graveolens* under Salinity Stress

L. Vojodi Mehrabani[1]*, Y. Anvari Gheshlagh[2], A. Motallebi Azar[3]

Received: 13-04-2021
Revised: 24-04-2021
Accepted: 01-05-2021
Available Online: 20-06-2022

How to cite this article:
Vojodi Mehrabani L., Anvari Gheshlagh Y., and Motallebi Azar A. 2022. Foliar Application of Nano Fe and Se Affected the Growth and Yield of *Pelargonium graveolens* under Salinity Stress. Journal of Horticultural Science 36(1): 213-228. (In Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/JHS.2021.69767.1041

Introduction

NaCl Salinity is one of the major environmental stressors affecting agricultural production everywhere. Salinity impacts the plants by the osmotic stress, nutritional imbalance with plants cells and by reducing the nutrients absorption and reactive oxygen species over-generation, as well as by ionic competition for the absorption, translocation, distribution and ion toxicity inside plants. Under salinity stress, plants develop various physiological and biochemical mechanisms to overcome this conditions, like ion homeostasis and compartmentalization, ion uptake, biosynthesis of osmoprotectants, activation of antioxidant enzymeic (superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase and glutathione peroxidase) and nonenzymic compounds (proline) to overcome salinity stress. Optimum nutrition under stressful saline conditions is important to overcome the problem and to produce optimum yield. *Pelargonium graveolens* is a plant commonly used in food and pharmaceutical industries. Iran has favorable micro-climates for the *Pelargonium graveolens*, production, and since this plants is in common use with diverse industries, this experiments was conducted to study the effects of foliar spray with Se and nano Fe on growth and physiological traits *Pelargonium graveolens* under NaCl salinity depression

Materials and Methods

Two separate experiments were concluded to evaluate the effects of foliar application of selenium and nano-Iron (0, 1.5 and 3 mgL^{-1}) on pelargonium under saline (0, 50 and 100 mM) conditions as factorial based on Completely Randomized Design. In the first experiment, the effects of magnetized Iron and in the second experiment, the effect of selenium were assayed on pelargonium growth and physiological traits (plant dry weight, enzymic activity, elemental content, essential oil percent and oil constituents) under salinity stress.

Results and Discussion

The results obtained from the first experiment showed that, the aerial parts dry weight, Na, Fe and H_2O_2 content, catalase activity and oil percent of *Pelargonium graveolens* were independently affected by the salinity and (1.5 and 3 mgL^{-1}) Fe foliar treatment. At the first experiment the highest amount of K/Na ratio, flavonoid content, K content, malondialdehyde, proline and superoxide dismutase activity were influenced by salinity stress. The top amount amount of plant dry weight, Fe content, K/Na, Na and superoxide dismutase activity were recorded at control plants. The top amounts of Na, proline, malondialdehyde, H_2O_2 content were recorded at 100 mM salinity stress. control and 50 mM NaCl increased oil percent in plants. Foliar spray with 1.5 and 3 mgL^{-1} Fe increased catalase, yield, phenolic content and oil percent in plants. At the second experiment; aerial parts dry weight, proline and flavonoid content were influenced by salinity stress. Catalase activity, malondialdehyde, superoxide dismutase activity and H_2O_2 content were influenced by sole effects of salinity and Se foliar

1 and 2- Associate Professor and M.Sc. Graduate of Department of Agronomy and Plant Breeding, Azarbaijan Shahid Madani University, Iran, respectively.
(*- Corressponding Author Email:vojodilamia@gmail.com)
3- Associate Professor, Department of Horticulture, Tabriz University, Tabriz, Iran

application. Under non saline condition, plant dry weight, superoxide dismutase activity, K content were increased in plant. With increasing salinity to 100 mM NaCl, proline, malondialdehyde and H_2O_2 content were increased. Se, Na content and K/Na ratio in the second experiment was influenced by the interaction effects of salinity and foliar spray. At the second experiment, the top amount of K/Na ratio were recorded at $NaCl_0$ × 1.5 and 3 mgL^{-1} Se spray. The top amounts of Na were recorded at NaCl0 × no foliar application. The superoxide dismutase activity, malondialdehyde and K^+ were responded to the individual effects of salinity and Se treatment. The highest amounts of total phenolic content was attained by (1.5 and 3 mgL^{-1}) nano Fe and Se treatment in both experiment. With salinity of 50 and 100 mM, the flavonoids contend was increased at both experiments. Foliar spray with 1.5 and 3 mgL^{-1} Nano Fe and Se increased catalase activity in plants. 1.5 and 3 mgL^{-1} Se and nano Fe foliar application reduced H_2O_2 content in plant at both experiment. GC/MS analysis revealed that β-citronellol (12.5-20.5%) was the major constituent with control treatment Citronelly formate (10.75-25.2%) were the dominant constituents of oil control plants. B-Thujone (12.61%), trans-Rose oxide (2.85- 9 %) and the highest amounts of Aromadendrene (5.42 %) only recorded at control plants. Salinity stress and foliar spray had negative effects on α-Pinene biosynthesis and the highest amounts of α-Pinene was recorded in control plants. The top amounts of Geranyl formate (0.7-7.8 %) was recorded at $NaCl_{50}$ × 1.5 mgL^{-1} Fe spray. Y- muurolene (0.4 – 4.06 %) biosynthesis increased at NaCl50 × 1.5 mgL^{-1} Se.

Conclusion

Salinity stress involves changes in metabolic processes and various physiological traits, controlled by salinity stress severity. In total, salinity had negative effects on the growth and physiological responses of plants, however, foliar treatment with Se and Fe improved some physiological traits of *Pelargonium graveolens*.

Keywords: Enzyme activity, Essential oil, *Pelargonium graveolens*, Proline, Total phenolic content

نشریه علوم باغبانی
https:// jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۲۲۸-۲۱۳

تأثیر سلنیوم و نانوذره آهن بر رشد و عملکرد شعمدانی عطری تحت تنش شوری کلریدسدیم

لمیا وجودی مهربانی[1*]- یعقوب انوری قشلاق[2]- علی‌رضا مطلبی‌آذر[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۱

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی با نانوذره آهن و سلنیوم بر روی گیاه شعمدانی عطری تحت تنش شوری، دو آزمایش جداگانه بصورت فاکتوریل بر مبنای طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. در آزمایش اول تاثیر محلول‌پاشی با نانوذره آهن (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر) و در آزمایش دوم تاثیر محلول‌پاشی با سلنیوم (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر) بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک شعمدانی عطری تحت تنش شوری (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمایش اول نشان داد وزن خشک بخش هوایی گیاه، فعالیت کاتالاز، محتوای آهن، سدیم، پراکسید هیدروژن و درصد اسانس شعمدانی تحت تاثیر اثرات مستقل تنش شوری و محلول‌پاشی با نانوذره آهن قرار گرفت. نسبت پتاسیم به سدیم، محتوای فلاونوئید، پتاسیم، مالون دی‌آلدئید، پرولین و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفت. بالاترین عملکرد گیاه، محتوای آهن، نسبت پتاسیم به سدیم و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در تیمار بدون تنش شوری مشاهده شد. بالاترین محتوای سدیم، پرولین، مالون دی‌آلدئید، پراکسید هیدروژن در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد. تیمار بدون تنش شوری و ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم موجب افزایش درصد اسانس شعمدانی شد. تیمارهای محلول‌پاشی با هر دو سطح نانوذره آهن موجب افزایش محتوای کاتالاز، عملکرد، محتوای فنل و درصد اسانس شد. در آزمایش دوم عملکرد گیاه، محتوای پرولین و فلاونوئید تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفت. محتوای کاتالاز، مالون دی‌آلدئید، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و پراکسید هیدروژن تحت تأثیر اثرات مستقل تنش شوری و محلول پاشی با سلنیوم قرار گرفت. تیمار بدون تنش شوری موجب افزایش عملکرد گیاه، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و پتاسیم گیاه شد. با افزایش تنش شوری به ۱۰۰ میلی‌مولار محتوای پرولین، مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در گیاه افزایش یافت. بیشترین فعالیت کاتالاز در تیمارهای بدون تنش شوری و تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم مشاهده شد. محتوای سلنیوم، سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم تحت تاثیر اثرات متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی با سلنیوم قرار گرفت. محلول‌پاشی با ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم موجب افزایش محتوای کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، فنل کل و محتوای پتاسیم شعمدانی شد. نتایج حاصل از تجزیه GC/MS نشان داد که β-citronellol (۲۴/۵ -۱۲/۵ درصد) و Citronelly acetate (۱۸/۳۹ – ۱/۵۶ درصد) جزء غالب اسانس شعمدانی عطری در تیمار تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم با محلول‌پاشی ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و Citronelly formate (۲۵/۲ -۱۰/۷۵ درصد) جزء قالب اسانس در تیمار شاهد بود. در کل چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تنش شوری موجب کاهش صفات رشدی و فیزیولوژیک شعمدانی عطری شد. محلول‌پاشی با سلنیوم و نانوذره آهن نقش مهمی در بهبود صفات فیزیولوژیک گیاه داشت.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، اسانس، پرولین، شعمدانی عطری، محتوای فنل کل

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشیار و دانش آموخته کارشناسی ارشد گیاهان دارویی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: vojodilamia@gmai.com)
۳- دانشیار گروه باغبانی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

DOI: 10.22067/JHS.2021.69767.1041

مقدمه

تنش شوری یکی از تنش‌های عمده محیطی مؤثر بر تولید محصولات کشاورزی در سراسر دنیا است (Munns and Tester, 2008). در مطالعات گسترده پیرامون شوری و تغذیه گیاهی، این مسئله به اثبات رسیده است که شوری موجب بروز ناهنجاری‌های گوناگون تغذیه‌ای در گیاه می‌شود که علت آن ممکن است مربوط به اثرات منفی شوری بر قابلیت جذب عناصر غذایی و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و یا مربوط به اثر شوری در ایجاد رقابت بین یون‌ها برای جذب، انتقال و توزیع در بخش‌های مختلف گیاه باشد (Munns and Tester, 2008; Rady *et al.*, 2011;). تنش شوری تأثیر منفی بر رشد گیاه از طریق سمیت یونی، استرس اسمزی و تنش اکسیداتیو دارد (Munns and Tester, 2008). بسته شدن روزنه‌ها در اثر تنش شوری موجب کاهش مصرف NADPH در چرخهٔ کالوین می‌شود و به این طریق موجب ایجاد اختلال در انجام فرایندهای فیqزیولوزیک گیاه می‌شود (Turkan and Demiral, 2009). وجود آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (سوپراکسید دیسموتاز در اولین خط دفاعی سلول بر علیه آسیب‌های ناشی از تنش قرار دارد که موجب حذف آنیون‌های سوپراکسیداز از سلول می‌شود) و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی در کاهش آسیب ناشی از رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده در سلول دارد (Turkan and Demiral, 2009). گیاهان از مکانیسم‌های مختلفی برای مقابله با تنش شوری استفاده می‌کنند. درک اجزای تنش و مسیرهای پیام‌رسانی نقش مهمی در تنظیم واکنش گیاه به تنش شوری را دارد. بنابراین یافتن ترکیباتی که موجب افزایش تحمل گیاهان در مقابل تنش شوری باشد گامی مؤثر در جهت نیل به تولید پایدار در بخش کشاورزی می‌باشد. استفاده از فرم نانوکودهای آهن موجب بهبود رشد گیاه و عملکرد گیاه تحت شرایط تنش شوری می‌شود (Valizadeh Kamran *et al.*, 2017). آهن نقش مهمی در فعالیت آنزیمی، فرآیند تنفس، تشکیل کلروپلاست و فتوسنتز در گیاهان دارد (Valizadeh Kamran *et al.*, 2017). کاربرد سلنیوم تأثیر مثبت در کاهش تنش‌های زیستی و افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، فرایند فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و جذب پتاسیم دارد (Xue *et al.*, 2001).

شمعدانی عطری با نام علمی *Pelargonium graveolens* گیاهی علفی، معطر، چند ساله، از خانواده Geraniacea**e** می‌باشد. گیاهان این جنس از نظر صنعتی به‌دلیل دارا بودن خاصیت حشره‌کشی، ضد قارچ، ضد ویروس و ضد باکتری اهمیت دارند (Ghannadi *et al.*, 2012). اسانس شمعدانی عطری حاوی ژرانیول، سیترونلول و سیترونل فرمات است که نقش مهمی در صنایع داروسازی دارد (Ghannadi *et al.*, 2012). با توجه به موارد ذکر شده در بالا و نیز با توجه به اهمیت این گیاه در صنایع مختلف و وجود شرایط اقلیمی مستعد در ایران برای پرورش این گیاه هدف از بررسی حاضر ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی با سلنیوم و نانو ذره آهن بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک شمعدانی عطری تحت شرایط تنش شوری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات تنش شوری کلریدسدیم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی با سلنیوم و نانوذره آهن مغناطیسی (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر) بر رشد و برخی صفات فیزیولوژیک شمعدانی عطری آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان انجام گرفت. قلمه‌های ریشه‌دار شده ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری شمعدانی عطری در گلدان‌های ۵ لیتری حاوی پرلیت دانه متوسط کاشته شدند. از محلول نیم هوگلند (pH: 5.5-5.7) به‌منظور رشد اولیه گیاه و سازگاری گیاهان با شرایط گلخانه استفاده شد. گیاهان به‌مدت ۲۰ روز با محلول نیم‌هوگلند تغذیه شدند. بیست روز بعد از رشد گیاهان در مرحله ۶ تا ۸ برگی تنش شوری اعمال گردید. به‌منظور سازگار نمودن گیاهان به شرایط تنش، اعمال تنش شوری به‌تدریج و با غلظت ۲۵ میلی‌مولار نمک آغاز گردید. بعداز چهار روز با اضافه کردن ۲۵ میلی‌مولار دیگر نمک، سطح شوری گلدان‌ها به ۵۰ میلی‌مولار افزایش یافت و این روند تا رسیدن به سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نمک ادامه یافت. اولین محلول‌پاشی همزمان با اعمال تنش شوری و محلول‌پاشی دوم دو هفته بعد (در مرحله ۸–۱۱ برگی) انجام شد. سه‌هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی (مرحله ۱۲–۱۵ برگی)، نمونه‌برداری از گیاهان انجام گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری وزن‌خشک گیاه، نمونه‌ها از محل طوقه گیاه (سطح بستر کشت) بریده شده و در دمای اتاق خشک شدند. اندازه‌گیری وزن‌خشک گیاه با استفاده از ترازوی دیجیتال (BBI41, Boeco, Germany) انجام شد.

سنتز نانوذره آهن مغناطیسی

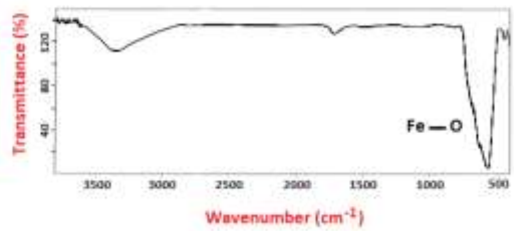
روش سنتز نانوذرات Fe_3O_4

۴/۸۳ گرم آهن کلرید شش آبه و ۳/۳۴ گرم آهن سولفات هفت آبه به آب اضافه شد و در دمای ۱۰۰ °C، بشدت همزده شد. بعد از انحلال کامل نمک‌ها، ۱۲ میلی‌لیتر آمونیاک غلیظ روی محلول‌ها اضافه شد و عمل هضم تا دو ساعت ادامه یافت. پس از سرد کردن بالن تا دمای اتاق، نانوذرات Fe_3O_4 با استفاده از آهن‌ربا از محلول واکنش جدا شده و در آون در دمای ۸۰ °C خشک گردید.

بررسی طیف FT-IR: شکل ۱ طیف FT-IR مربوط به نانو

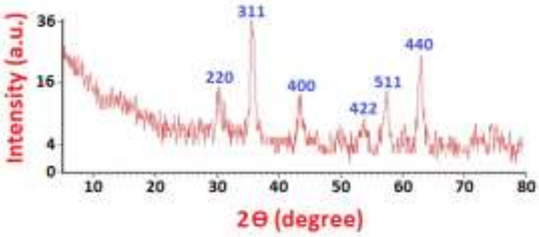
ذرات Fe_3O_4 را در محدوده cm^{-1} ۴۰۰۰–۵۰۰ نشان می‌دهد. همانطور که در روی شکل مشاهده می‌کنید پیکی در حوالی cm^{-1} ۵۷۰ دیده می‌شود که مربوط به ارتعاشات کششی Fe-O می‌باشد که نشان می‌دهد ذرات اکسید آهن به خوبی سنتز شده‌اند.

بررسی طیف XRD: پیک‌های ایجاد شده در 2θ های °۳۰/۰۰۷، °۳۵/۶۰۱، °۴۳/۲۳۹، °۵۳/۷۸۲ و °۶۳/۰۵۸، سنتز نانوذرات آهن را تایید می‌کند.



شکل ۱- طیف FT-IR نانو ذرات Fe_3O_4

Figure 1- FT-IR spectrum of Fe_3O_4 nano-particles



شکل ۲- طیف XRD نانو ذرات Fe_3O_4

Figure 2- XRD spectrum of Fe_3O_4 nano-particles

اندازه‌گیری وزن خشک گیاه: به‌منظور اندازه‌گیری وزن‌خشک گیاه، نمونه‌ها از محل طوقه گیاه (سطح بستر کشت) بریده شده و در دمای اتاق خشک شدند. اندازه‌گیری وزن خشک گیاه با استفاده از ترازوی دیجیتال (BBI41, Boeco, Germany) انجام شد.

اندازه‌گیری محتوای کاتالاز: برای اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز، ۰/۵ گرم از برگ شعمدانی عطری در بافر فسفات پتاسیم سرد ۰/۱ مولار (PH: ۷/۵) حاوی EDTA ۰/۵میلی‌مولار هموژنیزه شد. ۰/۰۵ میلی‌لیتر از محلول رویی با ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ میلی مولار (PH:۷) و ۱/۴۵ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر مخلوط شد. واکنش با افزودن ۰/۵ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۷۵ میلی‌مولار آغاز گردید. جذب نمونه‌ها ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت شد (Luhova *et al*., 2003).

محتوای پراکسید هیدروژن: ابتدا نمونه در نیتروژن مایع پودر شد سپس با ۵ میلی‌لیتر TCA یک درصد حجمی (حجمی/ وزنی) مخلوط گردید. روی ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی، ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰ میلی مولار با pH: ۷/۵ و یک میلی‌لیتر یدید پتاسیم یک مولار اضافه شد. میزان جذب نمونه‌ها در ۳۹۰ نانومتر به کمک اسپکتروفتومتر قرائت گردید (Amaranathareddy *et al*., 2015).

اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید: روی ۰/۲ گرم برگ ۵ میلی‌لیتر TCA یک درصد اضافه گردید. محلول حاصل در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. یک میلی‌لیتر از محلول رویی با ۴ میلی‌لیتر از مخلوط TCA 20% + TBA0.5 % مخلوط شد و به مدت ۳۰ دقیقه گرم شد. جذب نمونه‌ها به کمک اسپکتروفتومتر (T80+, China) در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد (Heath and Packer, 1968).

محتوای سوپراکسید دیسموتاز: برای اندازه‌گیری از ۵۰ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با pH حدود ۷/۵ استفاده شد. ۰/۱ میلی‌مولار از محلول EDTA، ۷۵ میکرومولار نیتروبلوتترازولیوم، ۱۳ میکرومولار متیونین و ۴ میکرومولار ریبوفلاوین به بافر اضافه و محلول درتاریکی نگهداری شد. جذب نمونه‌ها در ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Giannopolitis and Ries, 1977).

اندازه‌گیری محتوای پرولین: روی ۰/۲ گرم از نمونه برگ، ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد اضافه شد. یک میلی لیتر از محلول‌رویی با یک میلی‌لیتر اسید نین هیدرین و یک میلی‌لیتر اسید گلاسیال مخلوط شد. سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد (Fedina *et al*., 2006).

اندازه‌گیری فلاونوئید و فنل کل: برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل روی ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره متانولی، ۰/۳ میلی لیتر کلراید آلومینیوم ۱۰ درصد افزوده شد سپس جذب نمونه‌ها در ۵۱۰ نانومتر به‌وسیله اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد. محتوای کل فلاونوئیدها بر مبنای استاندارد روتین بیان شد (۱۸). برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل از معرف فولن سیکالتو[1] استفاده شد. از اسید گالیک به عنوان استاندارد برای اندازه‌گیری ترکیبات فنلی استفاده شد. جذب نمونه‌ها، در طول موج ۷۵۰ نانومتر تعیین گردید (Kim *et al*., 2006).

استخراج اسانس: روی ۳۰ گرم از نمونه‌های خشک شده برگ شعمدانی عطری، پودر شده ۳۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و به‌مدت ۲/۵ ساعت اسانس‌گیری شد. از سولفات سدیم خشک برای آبگیری اسانس حاصل استفاده شد. برای شناسایی ترکیبات شیمیایی روغن فرار استخراج شده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC-Agilent

1- Folin Ciocalteu

(Technologies, 7890B مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (FID) متصل به یک آشکارساز طیف‌سنجی جرمی (MS - Agilent Technologies, 5977A) استفاده شد.

اندازه‌گیری عناصر برگ: از روش فلایم فتومتری (Corning, 410, England) برای اندازه‌گیری محتوای عناصر سدیم و پتاسیم و دستگاه جذب اتمی (Corning, 410, England)، برای اندازه‌گیری محتوای آهن و سلنیوم استفاده شد (AOAC, 1990).

طرح آزمایشی و آنالیز داده‌های آماری: آزمایش حاضر به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. برای تجزیه داده‌ها از برنامه‌های آماری SPSS استفاده شد. برای رسم شکل‌ها از برنامه Excell استفاده شد. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد مقایسه شد.

نتایج و بحث

وزن‌خشک بخش هوایی گیاه

وزن‌خشک گیاه در آزمایش اول تحت تاثیر اثرات مستقل تنش شوری و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین وزن‌خشک بخش هوایی گیاه در تیمار شاهد (بدون تنش شوری) مشاهده شد با افزایش تنش شوری به ۱۰۰ میلی‌مولار از وزن‌خشک بخش هوایی گیاه کاسته شد (جدول ۲). تیمار محلول‌پاشی با غلظت‌های ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر نانوذره آهن موجب افزایش وزن‌خشک بخش هوایی گیاه شد (جدول ۳). در آزمایش دوم وزن‌خشک بخش هوایی گیاه تحت تاثیر تیمار تنش شوری قرار گرفت و بالاترین عملکرد گیاه در تیمار بدون تنش شوری به میزان ۵۱۳ گرم بر متر مربع در تیمار بدون تنش شوری مشاهده شد. بررسی انجام شده در شعمدانی عطری (Vojoai Mehrabani, 2019) و شعمدانی (Hassanvand *et al.*, 2019) نشان داد که با افزایش تنش شوری رشد رویشی گیاه کاهش می‌یابد. شاید یکی از دلایل کاهش رشد رویشی گیاه تحت تنش شوری در اثر اختلال در توازون یونی ایجاد شده در گیاه در اثر تنش شوری باشد که منجر به جذب بیشتر یون سدیم و کلر تحت شرایط تنش شده و بدین ترتیب با ایجاد اختلال در فعالیت‌های متابولیکی گیاه (کاهش تقسیم سلول و فتوسنتز) و با کاهش بیوسنتز و انتقال جیبرلین و سیتوکینین در گیاه موجب کاهش رشد گیاه می‌شود (Marschner, 1995; Vojodi Mehrabani *et al.*, 2018;). محلول پاشی با سولفات آهن تحت تنش شوری موجب افزایش عملکرد شاهسپرم شد (Valizadeh Kamran *et al.*, 2017). در بررسی انجام شده در انیسون مشخص شد که محلول‌پاشی با آهن نقش مثبت در افزایش عملکرد گیاه تحت شرایط تنش را داشت (Pirzad and Barin, 2018). آهن از اجزای مهم بسیاری از آنزیم‌ها می‌باشد و نقش مهمی در فرآیندهای بیولوژیکی مانند فتوسنتز، سنتز کلروفیل، تنفس و تثبیت نیتروژن درگیاه دارد. آهن به عنوان ناقل الکترون در فرآیند تنفس و فتوسنتز عمل می‌کند (Marschner, 1995). افزایش غلظت آهن در سلول‌های فتوسنتزی نشان‌دهنده اهمیت این عنصر در افزایش عملکرد گیاه می‌باشد. آهن در سلول‌های فتوسنتزی نقش مهمی در بیوسنتز سیتوکروم‌ها و سایر مولکول‌های دارای هم (کلروفیل و سیستم انتقال الکترون) دارد و با افزایش فتوسنتز کمک موثری به بهبود رشد گیاه می‌کند (Maschner, 1995).

فعالیت کاتالاز

در هر دو آزمایش فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تاثیر آثرات مستقل تنش شوری و تیمارهای محلول‌پاشی با سلنیوم و نانوذره آهن قرار گرفت (جدول ۱). در هر دو آزمایش تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم و تیمار بدون تنش شوری موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شد (جدول ۲). محلول‌پاشی با هر دو سطح آهن و سلنیوم موجب افزایش محتوای کاتالاز شد (جدول ۳). تیمار گیاهان تحت تنش شوری شوید با سلنیوم موجب افزایش محتوای آنزم کاتالاز در گیاه شد (Shekari *et al.*, 2017). نتایج مشابهی در خصوص کاهش در فعالیت کاتالاز در اثر تنش شوری در شاهسپرم گزارش شد محلول پاشی با سولفات آهن تحت تنش شوری موجب افزایش فعالیت کاتالاز در شاهسپرم شد (Valizadeh Kamran *et al.*, 2017). تحت شرایط تنش در اثر بتا اکسیداسیون اسیدهای چرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن مانند پراکسید هیدوژن، هیدروکسیل و سوپراکسید در سلول تولید می‌شوندکه تاثیر مخرب بر سلول دارد. آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مانند کاتالاز، پراکسیداز و اسکوربات پراکسیداز نقش مهمی در حذف یا کاهش اثرات سوء رادیکال‌های آزاد تولید شده در سلول‌های گیاهی را دارند. کاتالاز نقش مهمی در تبدیل پراکسید هیدروژن به آب و مولکول اکسیژن دارد و به این طریق موجب کاهش اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد در سلول‌های گیاهی می‌شود (Hernandez *et al.*, 2019; Vojodi Mehrabani, 2019;).

محتوای پراکسید هیدروژن

در هر دو آزمایش تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار موجب افزایش محتوای پراکسید هیدروژن در گیاه شد (جدول ۲). نتایج نشان‌دهنده افزایش تقریبا ۵۸ درصدی محتوای پراکسید هیدروژن نسبت به تیمار شاهد تحت تنش شوری بود. نتایج محلول‌پاشی با سلنیوم و نانوذره آهن مغناطیسی نشان داد که در هر دو آزمایش بیشترین محتوای پراکسید هیدروژن در تیمار بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (جدول ۳). نتایج مشابهی در خصوص افزایش محتوای پراکسید هیدروژن تحت تنش شوری در شعمدانی عطری (Vojodi Mehrabani, 2019) و

رزماری (Vojodi Mehrabani *et al*., 2018) گزارش شد. محلول‌پاشی با آهن موجب کاهش محتوای پراکسید هیدروژن در رزماری شد (Hassanpouraghdam *et al*., 2019). رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده تحت شرایط تنش شوری در اثر تخریب غشای سلول (پروتئین و غشای فسفولیپیدی) موجب افزایش محتوای مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن در گیاه شد (Marschner, 1995; Subramanyan *et al*., 2019;). کاربرد سلنیوم موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید و محتوای پراکسید هیدروژن در برنج شد که این عمل را از طریق افزایش سطوح transcript و OSNHX1 در گیاه انجام می‌دهد افزایش بیان OSNHX1 دراثر کارکرد سلنیوم موجب افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه شده و به این طریق موجب محافظت از سلول در مقابل تنش‌شوری می‌شود (Subramanyan *et al*., 2019). افزایش تجمع اسید آبسیزیک در اثر تنش شوری موجب تولید پراکسید هیدروژن در گیاه می‌شود که در این صورت گیاه به‌منظور کاهش اثرات منفی تجمع پراکسید هیدروژن ناگزیر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Subramanyan *et al*., 2019; Marschner, 1995;).

محتوای مالون دی‌آلدئید

تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم در آزمایش اوا وجب افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید تا ۱۰۰ نانومول بر گرم وزن تر گیاه شد کمترین محتوای مالون دی‌آلدئید در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۲). در آزمایش دوم تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، موجب افزایش ۴۰ درصدی محتوای مالون دی‌آلدئید نسبت به تیمار شاهد شد. در آزمایش دوم محتوای مالون دی‌آلدئید علاوه بر تنش شوری تحت تاثیر محلول‌پاشی با سلنیوم نیز قرار گرفت و محلول‌پاشی با سلنیوم موجب کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید در گیاه شد (جدول ۳). محلول‌پاشی با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم موجب کاهش حدودا ۲۴ درصدی محتوای مالون دی‌آلدئید نسبت شاهد شد (جدول ۳). تنش شوری تاثیر منفی بر شاخص پایداری غشای سلول دارد. تنش شوری موجب افزایش محتوای مالون دی‌آلدئید گیاه شد اما محلول‌پاشی با سلنیوم تحت چنین شرایطی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌آکسیدانی شده و موجب کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید در گیاه شد (Shekari *et al*., 2017). به‌نظر می‌رسد افزایش نشت‌یونی در سلول به‌دلیل افزایش جذب غیرانتخابی یون سدیم در گیاهان تحت تنش شوری اتفاق می‌افتد (Marschner, 1995; Subramanyan *et al*., 2019;). تجمع پراکسیدهیدروژن و رادیکال‌های سوپراکسید در گیاه در اثر فعال شدن واکنش‌های فتواکسیداتیو در گیاه تحت تنش شوری اتفاق افتاده و موجب تجمع رادیکال‌های سوپراکسید و پراکسید هیدروژن در گیاه و آسیب به غشای تیلاکوئید و کلروپلاست می‌شود (Subramanyan *et al*., 2019).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

در آزمایش اول فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تحت تاثیر اثر مستقل تنش شوری قرار گرفت بالاترین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در تیمار بدون تنش شوری مشاهده شد (جدول ۲). با افزایش تنش شوری به ۱۰۰ میلی‌مولار از فعالیت آنزیم ۲۴ درصد نسبت به تیمار شاهد کاسته شد (جدول ۲). در آزمایش دوم فعالیت سوپراکسید دیسموتاز تحت تاثیر اثرات مستقل تیمار محلول‌پاشی با ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم (جدول ۳) و تنش شوری (بدون کلرید سدیم) قرار گرفت (جدول ۲). در بررسی انجام شده در گوجه‌فرنگی مشخص شد که محلول‌پاشی سلنیوم موجب افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز شد (Hernandez *et al*., 2019). در سیستم دفاع آنزیمی سوپراکسید دیسموتاز با رادیکال سوپر اکسید واکنش نشان داده تا پراکسید هیدروژن را به کمک کاتالاز به آب و اکسیژن مولکولی تجزیه کند تا از اثرات مضر آن‌ها در سلول کاسته شود (Betwal and Ram, 2019). استفاده از برخی عناصر غذایی ریزمغذی در شرایط تنش شوری نقش مهمی در کاهش اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول را دارد (Munns and Tester, 2008). نتایج بررسی انجام شده در انگور (Mozafari *et al*., 2018) نشان داد که محلول‌پاشی با سلنیوم تحت تنش شوری موجب افزایش محتوای سوپراکسید دیسموتاز در گیاه شد. نتایج مشابهی درخصوص افزایش در فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در شوید در اثر محلول‌پاشی با سلنیوم تحت تنش شوری گزارش شد (Shekari *et al*., 2017).

محتوای پرولین

در هر دو آزمایش تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم موجب افزایش محتوای پرولین گیاه شد و کمترین محتوای پرولین در تیمار بدون تنش شوری مشاهده شد (جدول ۲). نتایج بررسی انجام شده شعمدانی (Hassanvand *et al*., 2019) نشان داد که با افزایش تنش شوری بر محتوای پرولین گیاه افزوده شد. بررسی انجام شده در گیاه رزماری نشان داد که با افزایش تنش شوری بر محتوای پرولین گیاه افزوده شد و محلول‌پاشی با نانوذره آهن تأثیری در افزایش پرولین گیاه نداشت (Hassanpouraghdam *et al*., 2019).

جدول ۱- تجزیه واریانس تاثیر محلول‌پاشی با سلنیوم و نانوذره آهن و تنش شوری بر وزن‌خشک ، فعالیت کاتالاز، محتوای پراکسید هیدروژن، مالون دی‌آلدئید، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، محتوای پرولین و فنل کل شعمدانی عطری

Table 1- ANOVA for the Se and nano Fe spray and salinity on aerial part dry weight, catalase activity, H_2O_2 content, malondialdehyde, superoxide dismutase activity, Proline and total phenolics content of P*elargonium graveolens*

آزمایش Experiment No.	منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	وزن خشک بخش هوایی گیاه Aerial part dry weight	فعالیت کاتالاز Calatase activity	محتوای پراکسید هیدروژن H_2O_2 content	محتوای مالون دی آلدئید Malondialdehyde content	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase activity	محتوای پرولین Proline content	محتوای فنل کل Total phenolics content
1	شوری Salinity	2	71045**	165**	7.2**	4927**	3.13**	7948**	4.7ns
	محلول‌پاشی با آهن Fe spray	2	19*	116**	0.82**	470.4ns	0.7ns	41.3ns	98**
	شوری × محلول‌پاشی با آهن Salinity × Fe spray	4	469ns	2ns	0.01ns	31.5ns	0.01ns	6.3ns	4ns
	خطا Erorr	18	5752	16.8	0.047	256.1	0.094	153.4	6.2
2	شوری Salinity	2	65052**	67.8*	5.8**	4650**	2.45**	7739**	5.1ns
	محلول‌پاشی با سلنیوم Se spray	2	9438ns	98.9*	1.1**	1148*	0.50**	34ns	2.7*
	شوری × محلول‌پاشی با سلنیوم Salinity × Se spray	4	432ns	3.7ns	0.039ns	49.1ns	0.035ns	29.7ns	3.5ns
	خطا Erorr	18	6534	17.1	0.325	225	0.34	125	4.8

ns، * و **به ترتیب به مفهوم عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

ns, *, and ** are non-significant and significant at $p \le 0.05$ and $p \le 0.01$, respectively.

جدول ۲- تاثیر تنش کلریدسدیم بر وزن‌خشک بخش هوایی گیاه، محتوای پراکسید هیدروژن، فعالیت کاتالاز، محتوای مالون دی‌آلدئید، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، محتوای پرولین و فلاونوئید شعمدانی عطری

Table 2- The effects of NaCl salinity on plant dry weight, H_2O_2 content, catalase activity, malondialdehyde content, Superoxide dismutase activity, proline and flavonoids content of P*elargonium graveolens*

آزمایش Experiment No.	تنش شوری Salinity stress (mM NaCl)	وزن خشک بخش هوایی گیاه Aerial part dry weight ($g.m^{-2}$)	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase activity ($units.mg^{-1}$ protein)	محتوای پراکسید هیدروژن H_2O_2 content ($\mu molg^{-1}$ FWt)	محتوای مالون دی آلدئید Malondialdehyde content ($nmol.g^{-1}$ FWt)	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase activity ($units. mg^{-1}$ Portein)	محتوای پرولین Proline Content ($\mu g.g^{-1}$ FWt)	محتوای فلاونوئید Flavonoids content ($mg. g^{-1}$ FWt)
1	0	566a	42.1a	1.3c	54.5b	5a	45.3c	3.1b
	50	458b	38.3a	2.3b	70b	4.3b	72b	3.8a
	100	390b	33.5b	3.1a	100a	3.8c	104a	3.7a
2	0	513a	40a	1.3c	5.2c	4.8a	43.1c	2.5b
	50	420b	38ab	2.3b	65.2b	4.3b	66b	3.2a
	100	378c	35b	2.9a	94.8a	3.8c	101a	3.4a

میانگین‌ها با حرف مشابه در هر ستون براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

In each column the means witrh similar letters are not significantly different at 5% levls based on Duncan's test.

جدول ۳- تاثیر محلول‌پاشی سلنیوم و نانو ذره آهن بر وزن‌خشک بخش هوایی گیاه، فعالیت آنزیم کاتالاز، محتوای پراکسید هیدروژن، مالون دی-آلدئید، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، محتوای فنل کل، درصد اسانس، محتوای سدیم، پتاسیم و آهن شعمدانی عطری

Table 3- The effects of Se and nano Fe spray on plant dry weight, catalase activity, H_2O_2 content, malondialdehyde content, Superoxide dismutase activity, total phenol content and essential oil percent, Fe, Na and K contents of *Pelargonium graveolens*

آزمایش Experiment No.	محلول-پاشی Spray ($mg.l^{-1}$)	وزن خشک بخش هوایی گیاه Aerial part dry weight ($g.m^{-2}$)	فعالیت آنزیم کاتالاز Calatase activity (units.mg^{-1} protein)	محتوای پراکسید هیدروژن H_2O_2 content ($\mu mol.g^{-1}$ FWt)	محتوای مالون دی آلدئید Malondialdehyde content ($nmol.g^{-1}$ fwt)	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase activity ($units.mg^{-1}$ protein)	محتوای فنل کل Total phenolics content ($mg.g^{-1}$ FWt)	درصد اسانس Essential oil percent (%)	محتوای سدیم Na content ($g.kg^{-1}$)	محتوای پتاسیم K content ($g.kg^{-1}$)	محتوای آهن Fe content ($mg.kg^{-1}$)
1	0	418^{b}	34^{b}	2.6^{a}	83^{a}	–	18.6^{b}	8.8^{b}	9.8^{a}	–	24^{b}
	1.5	502^{a}	41.2^{a}	2.1^{b}	72^{a}	–	24.6^{a}	12.5^{a}	7.7^{b}	–	29.6^{a}
	3	493^{ab}	38.6^{a}	2^{b}	69^{a}	–	24.1^{a}	12.2^{a}	7.2^{b}	–	32.2^{a}
2	0	–	39^{b}	2.6^{a}	83.3^{a}	4^{b}	18.6^{b}	–	–	8.4^{b}	–
	1.5	–	52^{a}	1.9^{b}	64^{b}	4.4^{a}	21.7^{a}	–	–	10.2^{a}	–
	3	–	60^{a}	2.0^{b}	62^{b}	4.5^{a}	20.7^{a}	–	–	10.8^{a}	–

میانگین‌ها با حرف مشابه در هر ستون براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

In each colum the means witrh similar letters are not significantly different at 5% levls based on Duncan's test.

تحت شرایط تنش شوری تولید ترکیباتی با وزن مولکولی پایین مانند پرولین نقش مهمی در تعدیل پتانسیل اسمزی سلول، جلوگیری از جذب یون‌های سدیم و کلرید و حفاظت از فسفولیپیدهای غشای سلول را دارد پرولین نقش مهمی در از بین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن و کاهش اسیدی شدن سلول دارد و به این طریق به بقای سلول تحت شرایط تنش کمک می‌کند (Rady *et al.*, 2011). به‌نظر می‌رسد تحت شرایط تنش شوری پرولین با اتصال به یون‌های فلزی موجب کاهش اثرات مضر آنها در گیاه شود. چنین به‌نظر می‌رسد پاسخ فیزیولوژیکی مناسب گیاه باید قبل از وقوع آسیب‌های تنش در گیاه ظاهر شود تا گیاه بتواند شرایط تنش را تحمل کند بیان ژن PDH در زمان مناسب مواجه با تنش در گیاه آرابیدوپسیس موجب تولید پرولین و مقاومت گیاه در مقابل تنش می‌شود (Hare *et al.*, 1999).

محتوای فنل کل و فلاونوئید

هر دو سطح محلول‌پاشی با سلنیوم و نانوذره آهن موجب افزایش محتوای فنل کل نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳). محتوای فلانوئید در هر دو آزمایش تحت تاثیر تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم قرار گرفت (جدول ۲). در بررسی انجام شده در رزماری (Hassanpouraghdam *et al.*, 2019) و شمعدانی عطری (RezaeiNejad *et al.*, 2020) مشخص شد که محلول‌پاشی با آهن موجب افزایش محتوای فنل گیاه شد. در تحقیق انجام شده در گوجه‌فرنگی مشخص شد که محلول‌پاشی سلنیوم موجب افزایش محتوای فلاونوئید گیاه شد (Hernandez *et al.*, 2019). گیاهان برای مقابله با تنش اُکسیداتیو ایجاد شده، در اثر تنش مجهز به سیستم دفاع آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی می‌باشند. تغذیه مناسب گیاه نقش زیادی در بیوسنتز ترکیبات فنلی در گیاه دارد. شاید یکی از دلایل افزایش محتوای ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در اثر محلول‌پاشی با نانوذره آهن به‌دلیل افزایش فتوسنتز گیاه و اختصاص کربوهیدرات بیشتر به مسیر اسید شیکمیک باشد که نهایتا موجب افزایش تولید متابولیت ثانویه در گیاه می‌شود. بدین طریق موجب محافظت گیاه در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شوند. تغذیه گیاه کاهو با سلنیوم موجب افزایش بیان ژن‌های UFGT و F3H در گیاه گردید که نقش مهمی در افزایش محتوای ترکیبات فنلی در گیاه داشت (Liu *et al.*, 2006). افزایش در فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز دراژ تیمار با سلنیوم در سیرگزارش شد (Khademi *et al.*, 2018). افزایش فعالیت آنزیم موجب افزایش بیوسنتز ترکیبات فنلی می‌شود که نقش مهمی در کاهش رادیکال‌های آزاد اکسیژن را دارد (Khademi *et al.*, 2018).

درصد اسانس و اجزای اسانس

اثرات مستقل تنش شوری و محلول‌پاشی با نانوذره آهن محتوای اسانس گیاه را در آزمایش اول تحت تاثیر قرار داد (جدول ۴). بالاترین محتوای اسانس در تیمار بدون تنش شوری و تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد (جدول ۵). محلول‌پاشی با با نانوذره آهن موجب افزایش درصد اسانس در هر دو سطح محلول‌پاشی شد که نشان‌دهنده افزایش ۲۹ درصدی نسبت به تیمار

شاهد بود (جدول ۳). تنش شوری، درصد اسانس را در اغلب گیاهان دارویی افزایش می‌دهد که دلیل آن افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه درگیاه است. نتایج بررسی انجام شده در گیاه شاهسپرم (Valizadeh Kamran *et al*., 2017) نشان داد که محلول‌پاشی با آهن موجب افزایش محتوای اسانس گیاه گردید. شاید یکی از دلایل افزایش محتوای اسانس گیاه در اثر محلول‌پاشی با آهن مربوط به افزایش فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌ها و تثبیت نیتروژن گیاه باشد (Marschner, 1995; Miller *et al*., 1995;). سطح ویژه زیاد نانوذرات موجب افزایش اثر بخشی آنها شده و به این طریق به افزایش محتوای اسانس گیاه کمک می‌کند. تغییر در محتوای اسانس و اجزای آن در اثر تنش شوری در گیاه از طریق تغییر در فعالیت آنزیم‌های درگیر در بیوسنتز ترپینوئیدها و فنیل پروپانوئیدها و تغییر در نسبت سیتوکینین به اسید آبسیزیک در گیاه انجام می‌شود (Marschner, 1995 ; Miller *et al*., 1995). نتایج حاصل از آنالیز GC/MS نشان دهنده وجود ۳۶ ترکیب در اسانس شعمدانی عطری بود (جدول ۶). β-citronellol جزء غالب (۱۲/۵ – ۲۰/۵ درصد) اسانس شعمدانی عطری بود. بالاترین میزان این ترکیب در تیمار تنش شوری۵۰ میلی‌مولار با محلول‌پاشی سلنیوم مشاهده شد و کمترین جزء β-citronellol در تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار با محلول‌پاشی سلنیوم مشاهده شد. بالاترین میزان Citronelly formate (۱۰/۷۵ –۲۵ درصد) در تیمار شاهد مشاهده شد. یکی از ترکیباتی که بیوسنتز آن تحت تاثیر تنش شوری و تیمار محلول‌پاشی قرار گرفت Geraniol (۹– ۱/۲ درصد) بود. بیشترین مقدار این جزء در تیمار تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار با محلول‌پاشی سلنیوم مشاهده شد. بیوسنتز Geranyl isobutyrate (۲ درصد) و Caryophyllene oxide (۲/۲ – ۵/۴ درصد) تحت تاثیر تیمار تنش ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و محلول‌پاشی با نانوذره آهن قرار گرفت. تیمار تنش شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و محلول‌پاشی با سلنیوم موجب افزایش محتوای β-cadinene (۳/۲ –۲/۴۷ درصد) نسبت به سایر تیمارها شد. تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و محلول‌پاشی آهن، بیوسنتز Bicyclogermacrene (۲/۹ درصد)، α-Humulene (۱/۱۷ درصد) و D- Germacrene (۱/۱– ۴/۳ درصد) را تحت تاثیر قرار داد. تنش شوری و تیمارهای مورد استفاده در محلول‌پاشی موجب کاهش جزء α–Pinene (۱/۴– ۹/۴۸درصد) در گیاه شد و بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده شد. β-Thujone (۱۲/۶۱ درصد) در تیمار شاهد مشاهده شد و تنش شوری و تیمارهای مورد استفاده در محلول‌پاشی تاثیری در بیوسنتز این جز نداشتند. بیشترین جزء Cis-Rose oxide (۶/۳۴– ۲) در تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و محلول‌پاشی با سلنیوم مشاهده شد. تنش و تیمارهای مورد استفاده در محلول‌پاشی تاثیر منفی بر بیوسنتز trans-Rose oxide (۹ – ۱/۴۹) و Menthone (۱۲/۳– ۵/۳) داشته و بیشترین جزء این ترکیب در تیمار شاهد مشاهده شد. تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و محلول‌پاشی با سلنیوم موجب افزایش محتوای Citronelly acetate (۱۸/۳۹ – ۱/۵۶ درصد) شد (جدول ۶). محافظت گیاه در مقابل آفات و بیماری‌ها، جذب حشرات گرده افشان، محافظت گیاه در مقابل جانوران علفخوار و بیماری‌های قارچی از مهمترین وظایف اسانس در گیاه است (Dudareva *et al*., 2004; Sadeghi *et al*., 2014; Narnolisa *et al*., 2019). دربررسی انجام شده در شعمدانی عطری مشخص شد که عمده‌ترین اجزای اسانس این گیاه شامل citronellol, geraniol, linalool, و citronellyl formate می‌باشد (Dzamic *et al*., 2014; Narnolisa *et al*., 2019;). در تحقیق انجام شده در شعمدانی مشخص شد که محتوای Geraniol در پاییز در گیاه کاهش یافت و غلظت Citronellol در بهار در گیاه افزایش می‌یابد نسبت Citronellol/Geraniol به عنوان یک شاخص حساس و مهم از تغییر در اجزای اسانس این گیاه می‌باشد (Doimo *et al*., 1999). در بررسی انجام شده ه در نعناع مشخص شد که کاهش محتوای اسانس تحت تنش شوری به‌دلیل کاهش تولید سیتوکینین در ریشه و انتقال آن به بخش هوایی گیاه و افزایش اسید آبسیزیک در گیاه می‌باشد (Charles *et al*., 1990). در تحقیق انجام شده در ریحان مشخص شد که محلول‌پاشی روی و آهن موجب افزایش محتوای لینالول، سابینن و کادینول در گیاه شد (Said-Al Ahl and Mohmood, 2010).

محتوای سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم

در آزمایش اول محتوای سدیم تحت تاثیر اثرات مستقل تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (جدول ۴) و بالاترین محتوای سدیم در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم به میزان ۱۴/۸ گرم بر کیلوگرم وزن‌خشک گیاه مشاهده شد (جدول ۵). محتوای پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در آزمایش اول تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفت و بیشترین محتوای آن در تیمار بدون تنش شوری مشاهده شد (جدول ۵).

در آزمایش دوم محتوای سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم تحت تاثیر اثرات متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی با سلنیوم در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (شکل ۵) و بیشترین محتوای سدیم در تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم بدون محلول‌پاشی مشاهده شد (شکل ۳). تیمار بدون تنش شوری و محلول‌پاشی شده با ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم موجب افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در گیاه شد (شکل ۴).

کاهش شدید در نسبت پتاسیم به سدیم در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم در تمامی سطوح محلول‌پاشی مشاهده شد. محتوای

پتاسیم تحت تاثیر اثرات مستقل تیمارهای آزمایشی بود (جدول ۴). بالاترین محتوای پتاسیم در تیمارهای محلول‌پاشی با ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم حاصل شد (جدول ۳). تنش شوری کلریدسدیم با ایجاد اختلال در جذب سایر عناصر غذایی از طریق ایجاد رقابت یونی موجب کاهش جذب سایر عناصر غذایی (منیزیم، کلسیم و پتاسیم) می‌شود. افزایش تجمع سدیم در سیتوپلاسم موجب ایجاد اثرات سمیت در متابولیسم سلول می‌شود. افزایش شدید سدیم و کاهش پتاسیم موجب ناتوانی ناقل‌های انتقال‌دهنده پتاسیم در غشای سلول می‌شود که نهایتا منجر به زردی و پیری برگ می‌شود (Marschner, 1995).

جدول ۴- تجزیه واریانس تاثیر محلول‌پاشی سلنیوم، نانوذره آهن و تنش شوری بر محتوای فلاونوئید، درصد اسانس و محتوای عناصر شعمدانی عطری

Table 4- ANOVA for the Se and nano Fe spray and salinity on flavonoid content, essential oil percent, and element contents of P*elargonium graveolens*

آزمایش Experiment No.	منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	محتوای فلاونوئید Flavonoids content	درصد اسانس Essential oil percent	محتوای سدیم Na content	محتوای پتاسیم K content	نسبت پتاسیم به سدیم K/Na	محتوای آهن Fe content	محتوای سلنیوم Se content
1	شوری Salinity	2	1.2^{*}	14.1^{**}	331^{**}	44.9^{**}	31.9^{**}	502^{**}	89^{*}
	محلول‌پاشی با آهن Fe spray	2	0.34^{ns}	36.4^{**}	10.4^{**}	3.07^{ns}	0.28^{ns}	159^{*}	0.25^{ns}
	شوری ×محلول-پاشی با آهن Salinity × Fe spray	4	0.06^{ns}	3.0^{ns}	1.1^{ns}	0.86^{ns}	0.17^{ns}	9.8^{ns}	1.64^{ns}
	خطا Erorr	18	0.22	5.09	1.22	1.76	0.143	27.5	26
2	شوری	2	1.8^{**}	17.3^{ns}	245^{**}	59.7^{**}	73^{**}	378^{**}	157^{**}
	محلول‌پاشی با سلنیوم Se spray	2	0.6^{ns}	6.2^{ns}	38^{**}	14.2^{*}	8.4^{**}	33^{ns}	720^{**}
	شوری × محلول-پاشی با سلنیوم Salinity × Se spray	4	0.08^{ns}	1.7^{ns}	6^{*}	0.32^{ns}	3.5^{**}	3.8^{ns}	231^{**}
	خطا Erorr	18	0.29	8.33	1.8	2.4	0.34	12.4	47.9

ns، * و **به ترتیب به مفهوم عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

ns, *, and ** are non-significant and significant at $p\leq0.05$ and $p\leq0.01$, respectively.

جدول ۵- تاثیر تنش کلریدسدیم بر درصد اسانس و محتوای عناصر در شعمدانی عطری

Table 5- The effects of NaCl salinity on essential oil percent and elemental content on P*elargonium graveolens*

آزمایش Experiment No.	شوری Sainity ($mg.l^{-1}$ NaCl)	درصد اسانس Essential oil percent	محتوای سدیم Na content ($g.Kg^{-1}$)	محتوای پتاسیم K content ($g.Kg^{-1}$)	نسبت پتاسیم به سدیم K/Na	محتوای آهن Fe content ($mg.Kg^{-1}$)	محتوای سلنیوم Se content ($mg.Kg^{-1}$)
	0	11.1^{a}	2.6^{c}	10^{a}	3.8^{a}	36.8^{a}	39.6^{a}
1	50	12.5^{a}	8.7^{b}	7.7^{b}	0.87^{b}	26^{b}	35.2^{ab}
	100	10^{b}	14.8^{a}	5.6^{c}	0.38^{c}	22^{b}	25.5^{b}
	0	–	–	12.5^{a}	–	33.4^{a}	–
2	50	–	–	9.6^{b}	–	24^{b}	–
	100	–	–	7.3^{c}	–	20.8^{b}	–

میانگین‌ها با حرف مشابه در هر ستون براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

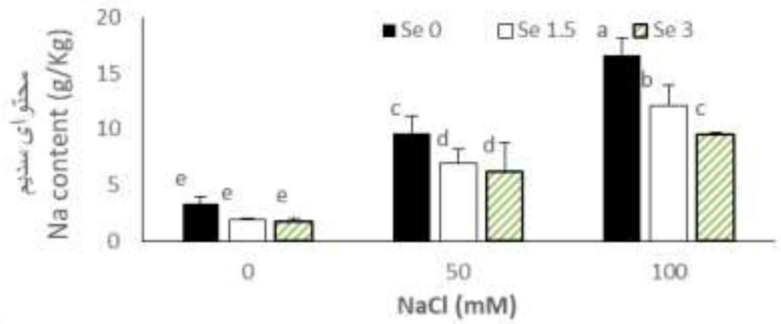
In each colum the means witrh similar letters are not significantly different at 5% levls based on Duncan's test.

جدول ۶- اجزا اسانس (درصد) گیاه شمعدانی عطری رشد یافته تحت تنش شوری کلرید سدیم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی شده با ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و نانوذره آهن

Table 6- Oil constituent (%) of *Pelargonium graveolens* grown under NaCl salinity (0, 50 and 100 mM) and foliar application of 1.5 mg.L^-1 Se and nano-Fe

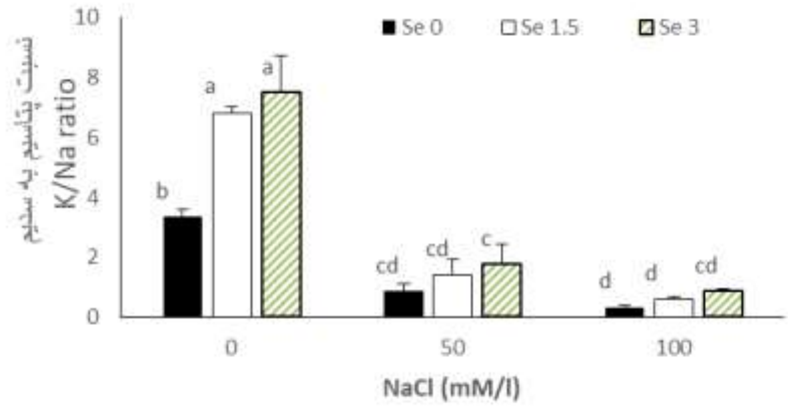
ردیف Row	ترکیبات Constituents	RT	RI	control	$NaCl_{100}$*Se	$NaCl_{50}$*Se	$NaCl_{100}$*Fe	$NaCl_{50}$*Fe
1	α-Pinene	4.43	935	9.48	3.58	2.58	1.41	3.54
2	phellandrine	6.3	1007	-	0.92	0.36	0.62	0.55
3	linalool	7.34	1095	-	0.26	0.5	0.76	0.51
4	β-Thujone	7.48	1123	12.61	-	-	-	-
5	Cis-Rose oxide	7.49	1107	2.73	6.34	-	2.81	2.05
6	trans-Rose oxide	7.79	1124	9	-	4.47	1.49	2.85
7	citronellal	8.25	1132	-	0.55	0.92	0.94	0.72
8	Menthone	8.97	1152	12.3	6.2	6.03	5.38	8.07
9	β-citronellol	9.23	1227	20.5	12.5	24.37	23.3	23.5
10	Citronelly formate	10.71	1262	25.2	10.75	-	12.51	17.92
11	β-bourbonene	12.97	1374	-	2.05	-	1.61	2.26
12	Trans-caryophyllene	13.6	1417	-	2.13	3.31	–	3.81
13	α-Humulene	14.22	1440	-	-	-	1.17	-
14	Germacrene -D	14.48	1483	4.31	1.13	2.42	4.6	2.81
15	Farnesene	14.56	1499	-	1	-	-	2.75
16	Bicyclogermacrene	15.17	1475	-	-	-	2.93	-
17	Y- muurolene	15.19	1307	-	0.45	4.06	2.3	0.4
18	Calarene	15.37	1544	-	-	-	0.39	-
19	β-cadinene	15.75	1491	2.99	3.02	3.27	2.47	2.56
20	Geraniol	16.41	1255		1.21	14.6	7.3	9
21	Geranyl isobutyrate	16.43	1232	-	-	-	2	-
22	(+)Spathulenol	16.97	157	-	0.89	-	0.98	-
23	Caryophyllene oxide	17	1584	-	2.22	2.6	5.45	2.26
24	Phenylethyl tiglate	17.09	1393	-	4.09	-	-	-
25	α- cabebene	17.63	1351	-	0.81	-	-	-
26	Citronellyl isobutyrate	17.71	1483	-	1.22	-	-	-
27	Aromadendrene	17.71	1441	5.42	-	1.02	0.77	–
28	α- copaene	17.90	1376	-	3.86	-	0.87	-
29	Y-cadinene	18.19	1505	-	-	0.25	0.87	-
30	β- bisabolene	18.55	1500	1.61	1.66	2.77	3.6	1.13
31	Citronelly acetate	18.70	1356	-	12.87	18.39	-	1.56
32	Citronelly propionate	18.8	1446	-	10.32	1.12	3.8	0.15
33	Geranyl formate	19.23	1289	-	2.33	0.7	2.06	7.80
34	Neryl acetate	19.52	1342	-	3.06	0.13	-	1
35	Geranyl propionate	20.16	1447	-	1.49	-	1.43	-
36	Citronellyl valerate	21.23	1600	-	1.2	0.32	1.79	2.42
جمع				95.15	98.11	94.19	95.61	99.62

افزایش در محتوای پتاسیم در گیاهان رشد کرده تحت شرایط تنش یکی از فاکتورهای مقاومت گیاه در مقابل تنش شوری می‌باشد پتاسیم نقش مهمی در تنظیم پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه، انتقال مواد محلول در آوند چوبی، تنظیم حرکات روزنه‌ای و توازن آبی گیاه دارد (Munns and Tester, 2008). تحت تنش شوری کاربرد سلنیوم نقش مهمی در جلوگیری از جذب کلر و سدیم توسط گیاه داشته و به‌این طریق مانع آسیب وارده به سلول تحت تنش شوری می‌شود.



شکل ۳- اثرات متقابل تنش شوری × محلول‌پاشی (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر) سلنیوم بر محتوای سدیم شمعدانی عطری

Figure 3- The interaction effects of salinity ×foliar spray of Se (0. 1.5 and 3 mg.L^{-1}) on Na content of *Pelargonium graveolens* (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ۴- اثرات متقابل تنش شوری ×و محلول‌پاشی (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر) سلنیوم بر نسبت پتاسیم به سدیم شمعدانی عطری

Figure 4- The interaction effects of salinity ×foliar spray of Se (0, 1.5 and 3 mg.L^{-1}) on K/ Na ratio of *Pelargonium graveolens* (DMRT, *p≤0.05*)

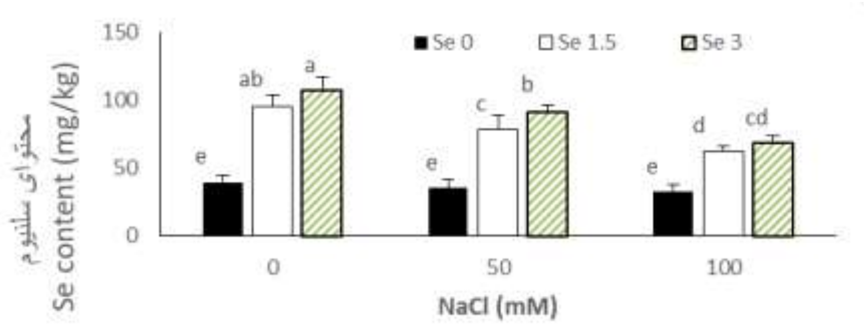
محتوای آهن

اثرات مستقل تنش شوری و محلول‌پاشی با نانوذره آهن، محتوای آهن گیاه را در آزمایش اول تحت تاثیر قرار داد (جدول ۴). بیشترین محتوای آهن در تیمار بدون تنش شوری مشاهده شد (جدول ۵). محلول‌پاشی با هر دو سطح ۱/۵ و ۳ میلی گرم در لیتر نانوذره آهن موجب افزایش محتوای آهن گیاه به میزان ۲۹/۶ و ۳۲/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه شد (جدول ۳). در آزمایش دوم محتوای آهن تحت تاثیر اثر مستقل تنش شوری قرار گرفت (جدول ۴) و بالاترین محتوای آهن در تیمار بدون تنش شوری به میزان ۳۳/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۵). در تحقیق انجام شده در گیاه رزماری مشخص شد که محلول‌پاشی گیاه با آهن موجب افزایش محتوای آهن گیاه شد (Hassanpouraghdam *et al.*, 2019). نتایج مشابهی در خصوص افزایش محتوای آهن گیاه در اثر محلول‌پاشی با نانو ذره آهن در گیاه نعناع گزارش شد (Askary *et al.*, 2017). آهن از عناصر ضروری مورد نیاز برای فعالیت آنزیم‌های سیتوکرومی، تنفس، فتوسنتز و بیوسنتز DNA و RNA می‌باشد. آهن نقش مهمی در زنجیره انتقال الکترون، آنزیم کلروفیل‌سینتاز و حفظ ساختار کلروپلاست دارد (Marschner, 1995). شاید دلیل افزایش محتوای آهن در اثر محلول‌پاشی با نانوذرات آهن مربوط به سطح ویژه نانوذرات باشد که موجب افزایش تاثیر آنها شده است (Wannoussa *et al.*, 2015).

محتوای سلنیوم

در آزمایش اول تنش شوری ۰ و ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم موجب افزایش محتوای سلنیوم به میزان ۳۹/۶ و ۳۵/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک شمعدانی شد (جدول ۵). اما در آزمایش دوم محتوای سلنیوم تحت تاثیر اثرات متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی با سلنیوم قرار گرفت تیمار بدون تنش شوری و محلول‌پاشی با ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم موجب افزایش محتوای سلنیوم گیاه شد با افزایش تنش شوری به ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تیمارهای محلول‌پاشی تاثیری در محتوای سلنیوم گیاه نداشت (شکل ۵). در بررسی انجام شده در گوجه‌فرنگی مشخص شد که محلول‌پاشی سلنیوم موجب

افـزایش محتـوای سـلنیوم گیـاه شـد (Hernandez *et al*., 2019). سلنیوم نقش مهمی در رشد گیاه تحت شـرایط تـنش‌هـای زیسـتی و غیرزیستی را دارد. تحت شرایط تنش شوری تیمار با سـلنیوم موجـب افزایش نسبت پتاسیم بـه سـدیم در گیـاه شـده و بـا کـاهش اثـرات رادیکال‌های آزاد اکسیژن به بقای گیـاه تحـت شـرایط تـنش کمـک مـی‌کنـد (Hassanpouraghdam *et al*., Shekari *et al*., 2017 ; 2019).



شکل ۵- اثرات متقابل تنش شوری × محلول‌پاشی (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر) سلنیوم بر محتوای سلنیوم شعمدانی عطری

Figure 5- The interaction effects of salinity ×foliar spray of Se (0, 1.5 and 3 mg.L^{-1}) on Se content of *Pelargonium graveolens* (DMRT, $p≤0.05$)

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی انجام شده نشان داد که تنش شوری تاثیر منفی بر عملکرد گیاه و صـفات فیزیولـوژیکی گیـاه داشـت. محتـوای عناصر گیاه تحت تاثیر اثرات مستقل تیمارهـای آزمایشـی مخصوصـا تنش شوری قرار گرفت و با افزایش شدت تـنش از محتـوای عناصـر گیاه کاسته شد. محتوای مالون‌دی‌آلدئید و پراکسـید هیـدروژن تحـت تاثیر اثرات مستقل تنش شوری و تیمارهای محلول‌پاشی قرار گرفت و با افزایش شدت تنش شوری بر محتوای هر دو ترکیب درگیاه افـزوده شد و تیمارهای مورد استفاده در محلول‌پاشی موجـب کـاهش اثـرات مخرب تنش در گیاه شد. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، سوپراکسید دیسـموتاز و کاتـالاز تحـت تـاثیر اثـرات مسـتقل تـنش شـوری و محلول‌پاشی قرار گرفت. تیمارهای ۱/۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتـر نـانوذره آهن و سلنیوم موجب افزایش محتوی کاتـالاز گیـاه شـد. بـا افـزایش تنش شوری به ۱۰۰ میلی‌مولار بر فعالیت پراکسید هیـدروژن افـزوده شد. با افزایش تنش شوری تا ۵۰ میلی‌مولار بر درصـد اسـانس گیـاه افزوده شد. در کل چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود کـه تـنش شـوری موجب کاهش صفات رشدی و فیزیولوژیـک شـعمدانی عطـری شـد. محلول‌پاشی با سلنیوم و نانوذره آهن نقـش مهمـی در بهبـود صـفات فیزیولوژیک گیاه را داشت.

منابع

1. Amaranathareddy V., Lokesh U., Venkatesh B., and Sudhakar C. 2015. Pb-stress induced oxidative stress caused alterations in antioxidant efficacy in two ground nut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars. Agricultural Sciences 6: 1283-1297.
2. Askary M., Talebi S.M., Amini F., and Dousti Balout Bangan A. 2017. Effects of iron nanoparticles on (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. Biologija 63(1): 65–75.
3. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Agricultural Chemists, Washington, DC.
4. Berwal M.K., and Ram C. 2019. Superoxide dismutase: a stable biochemical marker for abiotic stress tolerance in higher pants. Abiotic and Biotic Stress in Plants. doi: 10.5772/intechopen.82079.
5. Charles D.J., Joly R.J., and Simon J.E. 1990. Effect of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. Phytochemistry 29: 2837–2840.
6. Doimo L., Mackay D.C., Rintoul GB., Darcy R.B., and Fletcher R. 1999. Citronellol: geraniol ratios and temperature in geranium (*Pelargonium hybrid*). The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 74(4): https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511147.
7. Dudareva N., Picheresky E., and Gershenzon J. 2004. Biochemistry of plant volatiles. Plant Physiology 134: 1893-

1902.
8. Dzamic A.M., Sokovic M.D., Ristic M.S., Grujic S.M., Mileski K.S., and Marin P.D. 2014. Chemical composition, antifungal and antioxidant activity of *Pelargonium graveolens* essential oil. Journal of Applied Pharmaceutical Sciences 4(03):001–005
9. Fedina I., Georgieva K., Velitchkova M., and Grigorova I. 2006. Effect of pretreatment of barley seedlings with different salts on the level of UV-B induced and UV-B absorbing compounds. Environmental and Experimental Botany 56: 225-230.
10. Ghannadi A., Bagherinejad M.R., Abedi D., Jalali M., Absalan B., and Sadeghi N. 2012. Antibacterial activity and composition of essential oils from *Pelargonium graveolens* L. Her and *Vitex agnus-castus* L. Iranian Journal of Microbiology 4: 171-176. (In Persian with English abstract)
11. Giannopolitis C.N., and Ries S.K. 1977. Superoxide dismutase II. Purification and quantitives relationship with water soluble protein in seedling. Plant Physiology 50: 315-318.
12. Hare P.D., Cress W.A., and Van staden J. 1999. Prolin synthesis and degradation. A model system for elucidating stress-related signal transduction. Journal of Experimental Botany 50: 413-434.
13. Hassanpouraghdam M.B., Vojodi Mehrabani L., and TZortzakis N. 2019. Foliar application of Nano-Zinc and Iron effects physiological attributes of ROS marines officinal is and quietness NaCl salinity depression. Journal of soil science and plant Nutrition http//doi.org/1001007/s4/29-019-00111-1.
14. Hassanvand F., RezaeiNejad A.H., and Fanouvakis D. 2019. Morphological and physiological components mediating the silicon-induced enhancement of geranium essential oil yield under saline conditions. Industrial Crops and Products 134: 19-25.
15. Heath R.L., and Packer L. 1968. Photo peroxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics 125: 189-198.
16. Hernandez H.H., Gutierrez T.Q., Pliego G.C., Ortiz H.O., Fuentes A.D., Fuente M.C., Reyna V., and Maldonodo A.J. 2019. Impact of selenium and copper nanoparticles on yield, antioxidant system, and fruit quality of tomato plants. Plants 8: 355. doi:10.3390/plants8100355.
17. Khademi Astaneh R., Bolandnazar S., Zaare Nahandi F., and Oustan S. 2018. Effect of selenium application on phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity, phenol leakage and total phenolic content in garlic (*Allium sativum* L.) under NaCl stress. Information processing in Agriculture 5(3): 339-344.
18. Kim K.H., Tsao R., Yang R., and Cui S.W. 2006. Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions. Food Chemistry 95: 466–473.
19. Liu X., Feng Z., Zhang S., Zhang J., Xiao Q., and Wang Y. 2006. Preparation and testing of cementing nano-subnano composites of slower controlled release of fertilizers. Scientia Agricultura Sinica Journal 39: 1598-1604**.**
20. Luhova L., Lebeda A., Hederorva D., and Pec P. 2003. Activities of oxidase, peroxidase and catalase in seedlings of *Pisum sativum* L. under different light conditions. Plant Soil Enviornment 49(4). 151-157.
21. Marschner H. 1995. Mineral nutrient of higher plants. 2nd Edition. London: Academic Press Limited, Harcourt Brace and Company Publishers.
22. Miller G.W., Huang J., Welkie G.W., and Pushmik J.C. 1995. Function of iron in plants with special emphasis on chloroplast and photosynthetic activity. In: Abadia J (Ed.), Iron nutrition in soil and plants. Kluwer Academic publishers. Dordecht, Pp: 19-28.
23. Mozafari A.A., Ghdakchi asl A., and Chaderi N. 2018. Grape response to salinity stress and role of iron nanoparticle and potassium silicate to mitigate salt induced damage under in vitro conditions. Physiology and molecular Biology of Plants 24(1): 25-35.
24. Munns R., and Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology 59: 651–681.
25. Narnolisa L.K., Singh Jadaun J., and Singh S.P. 2019.The phytochemical composition, biological effects and biotechnological approaches to the production of high-value essential oil from Geranium. Essential Oil Research. 327-352. doi: 10.1007/978-3-030-16546-8_12.
26. Pirzad A., and Barin C. 2018. Iron and Zinc interaction on leaf nutrients and essential oil of *Pimpinella anisum* L. Iranian Journal of Plant Physiology 8(4): 2507-2515. (In Persian with English abstract)
27. Rady M., Sadak M.S., El-Bassiouny H.M.S., and Abd El-Monem A.A. 2011. Alleviation the adverse effects of salinity stress in sunflower cultivars using nicotinamide and α-tocopherol. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 5(10): 342-355.
28. RezaeiNejad A.V., Izadi Z., Sepahvand K., Mumivaad H., and Mousavi-fard S. 2020. Changes in total phenol and some enzymatic and non-enzymatic antioxidant activates of rose-scented geranium (*Pelargonium graveolens*) in response of exogenous ascorbic-acid and iron nutrition. Journal of Ornamental Plant 10(1): 27-36.
29. Sadeghi H., Jamalpoor S., and Shirzadi M.H. 2014. Variability in essential oil of *Teucrium polium* L. of different latitudinal populations. Industrial Crops and Products 54: 130–134.
30. Said-Al Ahl H.A.H., and Mohmoud A.A. 2010. Effect of zinc and / or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. Ozean Journal of Applied Sciences 3(1): 97-111.

31. Shekari F., Abbasi A., and Mustafavi S.H. 2017. Effect of silicon and selenium on enzymatic changes and productivity of dill in saline condition. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 16(4): 367-374
32. Subramanyam K., Du Laing G., and Van Damme E.J.M. 2019. Sodium selenate treatment using a combination of seed priming and foliar spray alleviates salinity Stress in rice. Frontiers in Plant Science 10 doi:10.3389/fpls.2019.00116.
33. Turkan I., and Demiral T. 2009. Recent developments in understanding salinity tolerance. Environmental and Experimental Botany 67: 2-9
34. Valizadeh Kamran R., Vojodi Mehrabani L., and Pessarakli M. 2017. Effects of foliar application of $FeSO_4$ and NaCl salinity on vegetative growth, antioxidant enzymes activity, and malondialdehyde content of *Tanacetum balsamita* L. Communications in Soil Science and Plant Analysis 48(16): 1852-1859.
35. Vojodi Mehrabani L., Hassanpouraghdam M.B., and Shamsi-Khotab T. 2018. The effects of common and nano-zinc foliar application on the alleviation of salinity stress in (*Rosmarinus officinalis* L.). Acta Scientiarum PolonorumHortorum Cultus 17(6): 65-73.
36. Vojodi Mehrabani L. 2019. The effects of methanol and ethanol foliar application under salinity stress on some physiological characteristics of (*Pelargonium graveolens* L.). Journal of Plant Physiology and Breeding 9(1): 67-79.
37. Wannoussa W., Masy T., Lambert S.D., Heinrichs B., Tasseroul L., Al-Ahmad A., Weekers F., Thonar P., and Hiligsmann, S. 2015. Effect of iron nanoparticles synthesized by a Sol-Gel process on *Rhodococcus erythropolis* T902.1 for biphenyl degradation. Journal Water Resource Prot **7**: 264–77.
38. Xue T.L., Hartikainen H., and Piironen V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effects of selenium on senescing lettuce. Plant and Soil 237: 55-61.